



MUNICIPIO DE BETEITIVA
DEPARTAMENTO DE BOYACA

CONTRATO DE CONSULTORÍA No. MB-MC-014-2026

OBJETO:

ESTUDIOS, DISEÑOS Y CÁLCULOS PARA UNA AMPLIACIÓN Y/O CONSTRUCCIÓN DE REDES DE ACUEDUCTO, REDES DE ALCANTARILLADO DEL MUNICIPIO DE BETEITIVA

CONTRATISTA:

CAD INGENIERIA Y PROCESOS SAS

CONTIENE: INFORME GENERAL CONTRATO

ELABORÓ:

CAD INGENIERIA Y PROCESOS SAS

Abril 2026





Tabla de Contenido

1.	INTRODUCCIÓN	3
2.	GENERALIDADES	4
4.	OBJETIVOS.....	8
4.2	OBJETIVO GENERAL:	8
4.3	OBJETIVOS ESPECIFICOS:	8
6.	COMPONENTE GEOTECNICO	11
7.	COMPONENTE SANITARIO	13
8.	COMPONENTE PLUVIAL.....	15
9.	COMPONENTE TRANSITO.....	16
10.	COMPONENTE PAVIMENTO.....	17
14.	CONCLUSIONES	26



1. INTRODUCCIÓN

El presente El presente documento constituye el Informe Técnico General que compila, integra y analiza los diferentes componentes técnicos para el desarrollo del proyecto bajo el Contrato de Consultoría No. MB-MC-014-2026. Este contrato, suscrito por el Municipio de Betétiva (Boyacá) en calidad de entidad contratante y la firma CAD Ingenieria y Procesos SAS en calidad de contratista, tiene por objeto formal la realización de los *"Estudios, diseños y cálculos para una ampliación y/o construcción de redes de acueducto y redes de alcantarillado del municipio de Betétiva"*.

La ejecución de este proyecto responde a una necesidad apremiante de saneamiento básico e infraestructura urbana en el casco céntrico del municipio. La ampliación e instalación de nuevas redes matrices y conexiones domiciliarias de acueducto y alcantarillado subterráneo no solo optimizarán la calidad en la prestación de los servicios públicos esenciales, sino que exigirán una intervención directa sobre la estructura vial existente debido a las excavaciones a sección abierta (zanja abajo). Por consiguiente, el proyecto integra de manera obligatoria la posterior rehabilitación, reconstrucción y dimensionamiento estructural de la calzada que será afectada por las obras hidráulicas, garantizando que el corredor vial recupere e incluso supere sus condiciones de serviciabilidad, seguridad y durabilidad.

Topográficamente, el sector se sitúa en una altaplanicie andina de la Cordillera Oriental, presentando pendientes longitudinales moderadas propias de la trama urbana de Betétiva, lo cual condiciona el control de velocidades del flujo hidráulico por gravedad y el confinamiento de las excavaciones.

1.2 Marco Normativo y Metodología General de Trabajo

El desarrollo de la consultoría se ciñe estrictamente al marco legal y normativo vigente en Colombia para obras de infraestructura de transporte y servicios públicos. Las directrices técnicas empleadas para el muestreo, ensayos y cálculos se enmarcan en:

- El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), específicamente en sus títulos de geotecnia y sismorresistencia.

- Las Normas de Ensayo y Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras del Instituto Nacional de Vías (**INVIAS 2022**).
- Los lineamientos y metodologías internacionales de la **AASHTO** para el diseño y análisis de tránsito de pavimentos.

La metodología adoptada para la consolidación de este informe general se estructuró en tres grandes fases de trabajo:

1. Fase de Campo: comprende la ejecución de aforos de tránsito in situ en tramos representativos de la Carrera 3 para determinar el flujo vehicular real, junto con la exploración geotécnica del subsuelo mediante la ejecución de un sondeo mecánico de tres (3.0) metros de profundidad y un apique a cielo abierto para el reconocimiento de la estructura vial preexistente.
2. Fase de Laboratorio: Realización de ensayos de caracterización físico-mecánica sobre las muestras alteradas e inalteradas recuperadas del subsuelo (análisis granulométrico, límites de Atterberg, humedad natural y capacidad de soporte de la subrasante).
3. Fase de Oficina y Diseño (Analítica): Procesamiento de datos de aforo para proyecciones de tránsito a 20 años, modelación de espectros de carga (ESALs), caracterización del perfil estratigráfico, modelamiento de la capacidad portante y dimensionamiento definitivo de las estructuras hidráulicas y de pavimentos.

2. GENERALIDADES

Para el desarrollo integral de los componentes de infraestructura hidráulica y sanitaria en el departamento de Boyacá, específicamente en el marco del contrato MB-MC-014-2026, cuyo objeto formal estipula los ESTUDIOS, DISEÑOS Y CÁLCULOS PARA UNA AMPLIACIÓN Y/O CONSTRUCCIÓN DE REDES DE ACUEDUCTO, REDES DE ALCANTARILLADO DEL MUNICIPIO DE BETEITIVA, se establece como requerimiento primario y vinculante la caracterización técnica, hidráulica y geotécnica detallada de la zona de intervención.

Estos parámetros actúan como el insumo fundamental no solo para el adecuado dimensionamiento de las conducciones y colectores subterráneos, sino también para el diseño de la posterior rehabilitación y reconstrucción de la estructura de pavimento que resultará afectada por las obras de excavación zanja abajo. El proyecto comprende la

intervención técnica de un tramo vial específico con una longitud aproximada de ochenta y siete (87) metros lineales en calzada, sobre el cual se proyecta la implementación e instalación de las nuevas redes matrices y domiciliarias.

Ante la necesidad de garantizar la estabilidad estructural y la durabilidad tanto de las tuberías de acueducto y alcantarillado como de la superficie de rodadura vial, el análisis se ha estructurado a partir de metodologías analíticas fundamentadas en información primaria recopilada directamente en campo mediante una rigurosa campaña de exploración del subsuelo y ensayos de laboratorio. La caracterización físico-mecánica y probabilística del perfil estratigráfico del proyecto se rigió bajo los lineamientos estipulados por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), además de las normas de ensayo vigentes del Instituto Nacional de Vías (INVIAS 2022).

En estricta correspondencia con las directrices contractuales de la consultoría, adjudicada en articulación con la empresa CAD INGENIERIA Y PROCESOS SAS y dirigida al Municipio de Betétiva, se implementó un esquema operativo de toma de información primaria in situ. El programa de cuantificación de vehículos que transitan

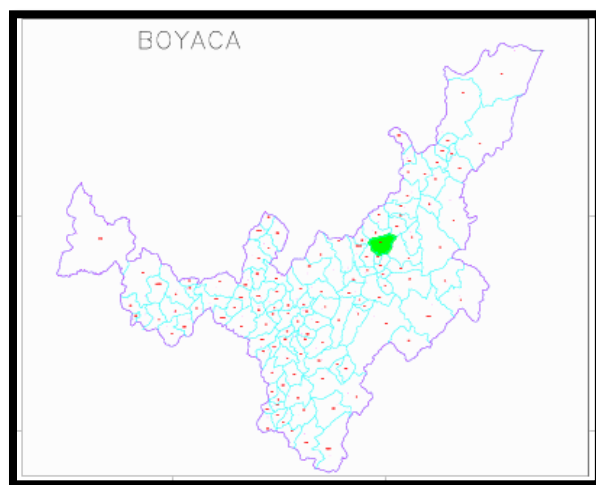
3. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

Para la correcta comprensión del entorno físico, ambiental y de movilidad del proyecto, la ubicación geográfica de las obras de ampliación de redes y rehabilitación vial se detalla a continuación mediante tres niveles de aproximación técnica:

3.1 Macro localización

Ubicación Político-Administrativa, el área de influencia directa del proyecto se encuentra localizada en la República de Colombia, específicamente en la región centro-oriental del país, en el departamento de Boyacá.

Geográficamente, la zona de estudio se sitúa en la parte norte de la provincia de Valderrama. Esta provincia se caracteriza por albergar una geografía predominantemente montañosa al estar emplazada sobre la cordillera Oriental de los Andes colombianos.



3.1.1 Mesolocalización

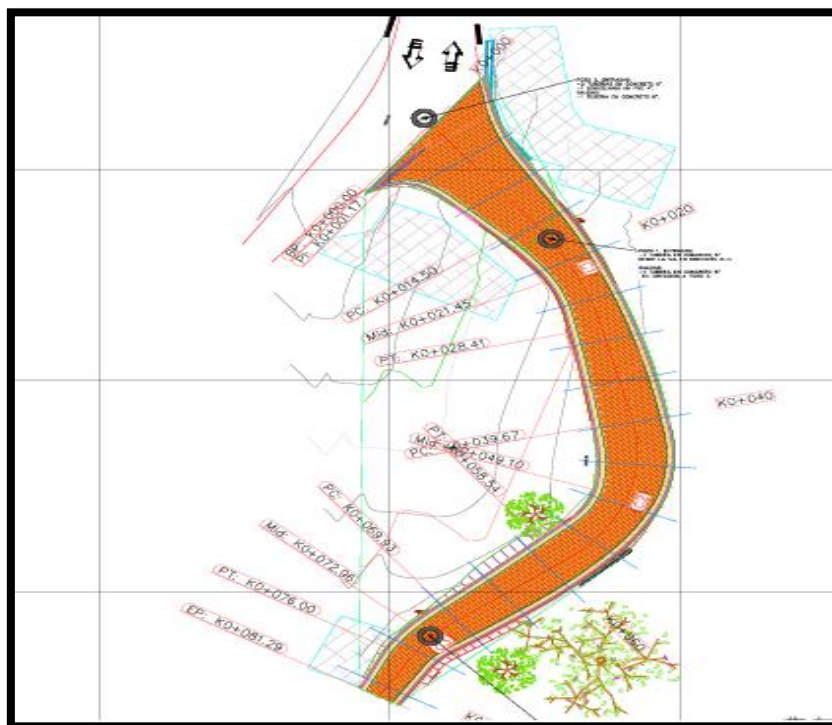
Las actividades técnicas, exploraciones y diseños se desarrollan en su totalidad dentro del tejido urbano consolidado del municipio de Betétiva. aunque el municipio se halla inmerso en una topografía andina abrupta, el casco urbano donde se asientan las obras se localiza a una elevación media de 2.613 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.). Esta altitud y su configuración urbana definen pendientes longitudinales moderadas a lo largo de su retícula vial. Estas pendientes son una variable crítica para los diseños, ya que condicionan el control de las velocidades de flujo hidráulico por gravedad dentro de las tuberías proyectadas y obligan a prever el confinamiento lateral de las zanjas frente a los empujes y cargas del tráfico en la zona céntrica del municipio.



3.3 Microlocalización

El corredor analizado y diseñado corresponde específicamente a la calzada de la Carrera 3, la cual actúa como una vía urbana de calzada bidireccional clave para la movilidad interna de la cabecera municipal.

- El tramo a intervenir físicamente está delimitado en sus extremos por:
 - **Límite Norte (Inicio):** Carrera 3 # 2-2, correspondiente al cruce con la Calle 2.
 - **Límite Sur (Fin):** Calle 1 # 3-17, correspondiente al cruce con la Calle 1.
- El tramo de estudio comprende una longitud aproximada de ochenta y siete (87) metros lineales de calzada, espacio sobre el cual se ejecutará la apertura de zanjas para la instalación de redes de acueducto y alcantarillado (con sus respectivas conexiones domiciliarias) y la posterior reconstrucción de la estructura de pavimento afectada.
- Con el fin de amarrar geográficamente los estudios de tránsito y los sondeos del estudio geotécnico, se estableció un punto de control y muestreo físico en el sitio, cuyas coordenadas de precisión son:
 - **Latitud:** 5°54'43.5"n
 - **Longitud:** 72°48'28.8"w
 - **Ubicación de Referencia:** Calzada de la Carrera 3 entre Calles 1 y 2, Casco Urbano de Betéitiva. En este punto estratégico se concentraron la estación de monitoreo vehicular y el sondeo de exploración principal de la campaña de campo, garantizando la fidedignidad y representatividad de los datos del subsuelo y del tránsito recopilados.



4. OBJETIVOS

4.2 OBJETIVO GENERAL:

Realizar los estudios, diseños y cálculos técnicos, hidráulicos y geotécnicos necesarios para la ampliación y/o construcción de las redes de acueducto y alcantarillado sanitario en el sector centro del municipio de Beteitiva, Boyacá, garantizando un sistema eficiente bajo la normativa vigente y la posterior estructuración técnica para la rehabilitación de la calzada vial afectada por las obras de excavación.

4.3 OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Establecer los parámetros hidráulicos y de demanda del sistema sanitario para un tramo de colectores, estimando los caudales de diseño (Caudal Medio Diario y Máximo Horario) con base en una proyección de saturación de 20 usuarios y los lineamientos de la Resolución 0330 de 2017, adoptando el caudal mínimo normativo de 1.5 L/s. Modelar y simular el comportamiento hidráulico de la red de alcantarillado proyectada (tramos TE-1, TN-1, TN-2 y TN-3) mediante un análisis de onda dinámica y la ecuación de Manning, verificando el

cumplimiento de las velocidades, pendientes, fuerzas cortantes y la correcta capacidad de la tubería de PVC de 182 mm.

- Caracterizar las condiciones geotécnicas del subsuelo y evaluar el volumen y composición del flujo vehicular actual en el tramo de intervención de 87 metros lineales en calzada, mediante campañas de exploración directa y la ejecución de aforos de tránsito in situ.
- Definir la estructura del pavimento y el proceso constructivo zanja abajo para la posterior reposición de la superficie de rodadura, detallando las especificaciones de los materiales y los controles de calidad exigidos con el fin de asegurar la estabilidad y durabilidad de las conducciones subterráneas y de la vía.

5. CONDICIONES INICIALES DE LA VÍA

El tramo objeto de intervención, con una longitud aproximada de ochenta y siete (87) metros lineales en el sector centro del municipio de Beteitiva, presenta un diagnóstico físico, operativo e hidráulico que evidencia un avanzado estado de deterioro funcional y estructural. A continuación, se detallan los componentes evaluados en la fase de diagnóstico inicial:

1. Estado de la Estructura de Pavimento Existente

La superficie de rodadura actual consta de un pavimento rígido en concreto con un espesor promedio de doce (12) centímetros. No obstante, la estructura se encuentra en una fase crítica de degradación y desintegración física debido al cumplimiento de su vida útil y a la fatiga acumulada por factores ambientales y de tránsito.



Fuente Autor.

Se constató una alta densidad de patologías viales severas, tales como:

- Presencia de fisuras longitudinales, transversales y bloques fracturados.
- Ausencia total de aceros de refuerzo (pasadores de carga y barras de amarre en las juntas longitudinales y transversales), lo que ha provocado la pérdida de transferencia de cargas entre losas, desalineaciones verticales y un progresivo colapso estructural.



Fuente Autor.

2. Infraestructura de Drenaje Vial y Aguas Lluvias

El sistema de drenaje superficial en el tramo evaluado es deficiente e inoperante:

- La vía carece de cunetas laterales establecidas y técnicamente dimensionadas para la canalización del agua de escorrentía.
 - Ante la falta de pendientes transversales adecuadas y canales de conducción, la totalidad del agua proveniente de las precipitaciones fluye de forma caótica sobre la superficie de rodadura, desembocando sin control de velocidad en un único sumidero ubicado en la parte inferior de la vía. Esta condición acelera el lavado de finos de la base y subbase, socavando el soporte del pavimento.
 - Se evidencia la presencia de estructuras de inspección tipo pozo que no cumplen con las condiciones óptimas de captación ni se articulan de manera eficiente con un sistema de evacuación pluvial técnica.

3. Red de Alcantarillado Existente

El subsuelo del tramo alberga una red de alcantarillado de tipo mixto (que capta de manera conjunta aguas residuales y pluviales) instalada a baja profundidad. Esta condición representa

un riesgo inminente de colapso por las cargas de tránsito, además de propiciar fugas subterráneas y contaminación del suelo portante. El sistema mixto existente satura rápidamente su capacidad de transporte hidráulico durante eventos lluviosos, generando reflujos y fallas de saneamiento básico en el sector.

4. Diagnóstico de Necesidad de Intervención

Las condiciones descritas configuran un panorama que exige una intervención técnica integral de tipo zanja abajo y de reconstrucción de superficie. Se establece la necesidad prioritaria de ejecutar las siguientes líneas de acción:

- Se requiere la renovación, separación y correcta profundización de los sistemas subterráneos, implementando de manera independiente:

1. Una red matriz de acueducto moderna.
2. Una red de alcantarillado sanitario (con los tramos y colectores óptimos ya simulados).
3. Un sistema de alcantarillado pluvial dedicado, que elimine el flujo mixto actual y capte técnicamente la escorrentía.

Diseñar y conformar una nueva estructura de pavimento calculada a partir de un adecuado tránsito de diseño (en Ejes Equivalentes), que reemplace las losas fracturadas y garantice estabilidad estructural, capacidad portante, resistencia climática y durabilidad a largo plazo.

Nota. 1

Al tratarse del sector centro del municipio de Beteitiva, el diseño y acabado de la nueva superficie de rodadura y sus obras complementarias (andenes, bordillos o acabados del pavimento) no deben desentonar con el entorno histórico y la identidad arquitectónica del municipio. Se requiere una solución de ingeniería que combine durabilidad técnica con un alto valor estético e integración patrimonial.

6. COMPONENTE GEOTECNICO

Perfil Estratigráfico y Descripción del Subsuelo

A partir de la exploración realizada (sondeo SPT a 3.0 m de profundidad y un apique), se identificó la siguiente secuencia de materiales bajo el pavimento rígido existente:

- Nivel Superficial (0.00 a -0.27 m): Estructura de pavimento rígido actual (13 cm de concreto)

apoyada sobre una base granular color amarillo-naranja (15 cm).

- Primer Horizonte (-0.27 a -1.05 m): Arcilla de baja plasticidad (CL) color café claro que varía hacia los 60 cm a una arena arcillosa (SC) gris oscura de consistencia suelta y baja plasticidad (posible relleno o mejoramiento).
- Segundo Horizonte (-1.05 a -2.30 m): Arcilla de baja plasticidad (CL) color gris oscuro con contenido de arenas y consistencia de muy compacta a compacta.
- Tercer Horizonte (-2.30 a -3.00 m): Arcilla de plasticidad media (CL) con vetas color naranja y baja presencia de arenas.

Nivel Freático: No se detectó la presencia de agua subterránea (nivel freático) en ninguna de las profundidades exploradas durante la campaña de campo.

2. Parámetros Mecánicos y Propiedades de Resistencia

A través de los ensayos normalizados e indirectos (SPT), se establecieron las propiedades efectivas de diseño para los dos principales estratos de suelo natural:

Estrato de Suelo	Ángulo de Fricción (ϕ')	Cohesión (c')	Consistencia / Compacidad
Arenas Arcillosas (SC) <i>(Superior)</i>	32.44°	0.18 kPa	Suelta
Arcillas (CL) <i>(Inferior)</i>	27.75°	5.64 kPa	Muy compacta a compacta

Componente de Diseño Vial (Subrasante)

Para el diseño de la estructura del nuevo pavimento tras la reposición de las redes hidrosanitarias, se evaluó un apique obteniendo los siguientes resultados sobre el material de subrasante:

- Clasificación del suelo: Arena arcillosa (SC) con 43.16% de finos, 44.02% de arenas y 12.82% de gravas.
- Capacidad de Soporte (CBR de diseño): 6.5%, obtenido en condición de muestra inalterada sumergida durante 4 días.
- Potencial de Expansión: Clasificado como Bajo (Hinchamiento potencial $<0.5\%$, con un IP de 7.40% y LL de 21.75%).

Parámetros de Sismo Resistencia

De acuerdo con la normativa colombiana **NSR-10 (Título A)** y la ubicación geográfica del proyecto:

- Zona de Amenaza Sísmica: Alta (Municipio de Betétiva).
- Tipo de Perfil de Suelo: Perfil Tipo D (Suelos rígidos caracterizados por valores promedio de SPT entre $(15 \leq N \leq 50)$).
- **Coeficientes de Diseño Sísmico:**
 - Coeficiente de aceleración horizontal: $A_a = 0.25$
 - Coeficiente de velocidad horizontal: $A_v = 0.25$
 - Coeficientes de amplificación: $F_a = 1.30$ y $F_v = 1.90$

Condiciones Especiales y Recomendaciones Clave

- Suelos Especiales: El potencial de colapsabilidad, expansión y licuación de los suelos analizados se catalogó como muy bajo o inexistente, condicionado principalmente a mantener controlada la humedad del terreno.
- Cimentación de Estructuras: Las redes y pozos de inspección no transmiten cargas significativas. Se aconseja excavar idealmente hasta el estrato firme (>-1.00 m) y colocar una losa de limpieza o mejoramiento de 20 cm en concreto ciclópeo ($f'_c \geq 17.5$ MPa) si hay alteración por aguas o excavación.
- Estructura de Relleno: Se recomienda realizar los llenos de las zanjas mediante un mejoramiento con material de recebo común en un espesor mínimo de 15cm (conforme a las Normas INVIAS Art. 610), controlando que su densidad seca supere a la del suelo natural (1.84g/cm^3) mediante ensayos Proctor Modificado y densidades de campo.
- Manejo de Aguas: Es indispensable implementar obras de drenaje perimetral y filtros subsuperficiales en el talud superior para evitar que la escorrentía sature la subrasante y demerite sus propiedades mecánicas.

7. COMPONENTE SANITARIO

Estimación de Caudales del Sistema Sanitario

El cálculo de caudales se fundamenta en los lineamientos de la Resolución 0330 de 2017 para una proyección máxima de saturación de 20 usuarios:

- Parámetros de Entrada:
 - Consumo (Dotación neta): 120L/hab x día.

- Coeficiente de retorno (Cr): 0.85 (valor normativo ante la falta de registros locales).
- Densidad de población: 4.4 habitantes por vivienda (según datos del DANE).
- Aporte Doméstico Unitario (QD por suscriptor): 0.0061L/s.
- Aporte Doméstico Total (QDTotal): 0.122L/s.
- Caudal Medio Diario (QMD): 0.41 L/s (incluye aportes domésticos e institucionales).
- Caudal Máximo Horario (QMH): 0.46 L/s (aplicando un factor de mayoración $F = 3.83$).
- Caudal de Diseño Adoptado: Debido a que la sumatoria del QMH con las infiltraciones y conexiones erradas resulta menor a 1.5 L/s, la normativa exige adoptar un caudal de diseño mínimo de 1.5 L/s para los tramos iniciales.

2. Parámetros de Entrada del Modelo de Simulación

La modelación del transporte hidráulico se ejecutó utilizando las siguientes especificaciones técnicas:

- **Modelo de transporte:** Onda dinámica.
- **Ecuación de flujo:** Manning.
- **Coeficiente de rugosidad de Manning para PVC:** 0.010.
- **Nivel de tolerancia:** 0.01 m.
- **Tiempo de concentración promedio:** 3.2 minutos.

3. Topología de la Red Sanitaria

La red consta de tuberías de **PVC** con un diámetro interno de **182mm**. Sus características geométricas principales son las siguientes:

**Nota de consistencia técnica: Aunque el encabezado de la tabla del informe indica "cm", los valores numéricos de longitud (ej. 18, 24) y las cotas (ej. 2,600.45) corresponden físicamente a metros (m), tal como se corrobora en el perfil gráfico de la red.*

4. Resultados de la Modelación Hidráulica

La simulación confirma el óptimo funcionamiento de la red con el caudal mínimo de diseño (1.5 L/s), cumpliendo con los parámetros normativos de velocidad, fuerza tractiva y régimen de flujo:

Tubería	Longitud (m)*	Cota Inicial (m)*	Cota Final (m)*	Material	Diámetro (mm)
TE-1	18.0	2,600.45	2,597.77	PVC	182
TN-1	24.0	2,603.70	2,603.18	PVC	182
TN-2	17.2	2,603.18	2,601.95	PVC	182
TN-3	13.8	2,601.95	2,600.45	PVC	182

Nota de consistencia técnica: Aunque el encabezado de la tabla del informe indica "cm", los valores numéricos de longitud (ej. 18, 24) y las cotas (ej. 2,600.45) corresponden físicamente a metros (m), tal como se corrobora en el perfil gráfico de la red.

4. Resultados de la Modelación Hidráulica

La simulación confirma el óptimo funcionamiento de la red con el caudal mínimo de diseño (1.5 L/s), cumpliendo con los parámetros normativos de velocidad, fuerza tractiva y régimen de flujo:

Tubería	Pendiente (%)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Relación d/D (%)	Esfuerzo Cortante (Pa)	Número de Froude
TE-1	16.81%	1.5	0.26	2.1%	14.503	0.226
TN-1	2164%	1.5	0.26	2.9%	2.901	0.271
TN-2	7139%	1.5	0.25	2.1%	7.312	0.226
TN-3	10879%	1.5	0.26			

8. COMPONENTE PLUVIAL

Características de la Red (Topología)

La red diseñada está proyectada en tubería de PVC con un diámetro interno de **284 mm**. Se compone de 5 tramos principales:

Tubería	Longitud (m)*	Cota Inicial (m)	Cota Final (m)
TN-1	22.0	2.603,65	2.603,24
TN-2	19.6	2.603,24	2.601,83
TN-3	14.4	2.601,83	2.600,51
TN-4	13.3	2.600,51	2.598,21
TN-5	12.6	2,598,21	2.597,64

Resultados Hidráulicos

El modelo hidráulico (lluvia-escorrentía por el método racional) demuestra un comportamiento óptimo y el cumplimiento de la normatividad vigente (Resolución 0330 de 2017):

- Caudales de diseño: Varían desde 17,36 L/s en el tramo inicial (TN-1) hasta un caudal máximo de entrega de 74,15 L/s (TN-5).
- Velocidades: Oscilan entre 1,39 m/s y 4,55 m/s, garantizando la autolimpieza sin generar erosión excesiva.
- Relación de llenado (H/D): Se mantiene controlada, alcanzando un máximo del 55,1% en el tramo final.

Parámetros Hidrológicos y Curvas IDF

- Normativa: Se adopta un período de retorno de 5 años para la simulación hidráulica conforme a los requerimientos de la Resolución 0330 de 2017.
- Ecuación IDF obtenida:

$$I = \frac{150,33 \times T^{0,1776}}{t^{0,61885}}$$

(Donde I es la intensidad en mm/h, T el periodo de retorno en años y t la duración en minutos). Intensidad de diseño de referencia (T = 5 años): Varía desde 73,90 mm/h para una duración de 5 minutos, hasta 15,88 mm/h para una duración de 60 minutos.

9. COMPONENTE TRANSITO

El estudio de tránsito se desarrolló en el marco del contrato para la ampliación y construcción de las redes de acueducto y alcantarillado en el casco urbano del municipio de Betétiva, Boyacá.

Bajo la autoría del Ingeniero Civil especialista en vías Alberto Rincón Guzmán, en representación de CAD Ingeniería y Procesos SAS, el análisis se concentró específicamente en un tramo bidireccional de aproximadamente 87 metros lineales ubicado en la Carrera 3, entre las Calles 1 y 2. El objetivo principal de este trabajo fue proyectar el volumen de cargas e impactos vehiculares que experimentará la estructura de pavimento que se restituirá luego de las intervenciones en los servicios públicos del sector.

Para determinar con precisión estas solicitudes, la metodología se estructuró en cuatro fases técnicas secuenciales. Inicialmente, se hizo un reconocimiento del corredor para preclasificar la vía dentro de la Categoría III de INVIAS, correspondiente a tránsitos

medianos a bajos. Posteriormente, se efectuaron aforos de campo directos para clasificar los vehículos en livianos, comerciales medianos y pesados. Estos datos brutos de campo —que registraron inicialmente un promedio físico de 26.14 vehículos diarios— se procesaron y ponderaron sistemáticamente junto a un volumen de diseño consolidado de 347.42 vehículos por día. En este flujo vehicular predomina la categoría de vehículos livianos con un 76.20%, seguida por un 11.14% de buses y un 12.66% de camiones rígidos.

La proyección del tránsito se realizó para un periodo de diseño de 20 años bajo una configuración de calzada de doble carril, asignando una distribución direccional del 50% y un factor de carril de 1.00. Se contempló un crecimiento normal anual del 3.6% para vehículos totales y del 2.9% para comerciales, además de aplicar un factor del 20% por tránsito atraído y un 30% por tránsito generado debido a las mejoras de la vía. Asimismo, se incorporó un periodo de transición de diseño a construcción de 3 años, estimando que durante la ejecución de las obras el tránsito de construcción será nulo debido al cierre total del tramo.

Finalmente, mediante el cálculo del factor camión global de 0.419 y tras aplicar un nivel de confiabilidad estadística del 90% ($Z_r = 1.282$), el estudio determinó que el pavimento estará sometido a un tránsito de diseño definitivo de 1.97×10^4 ejes equivalentes de 8.2 toneladas. Al ubicarse este valor por debajo del límite de un millón de ejes, la Carrera 3 se clasifica formalmente bajo la categoría **NT1 (Tránsito Bajo)** según los parámetros de INVIAS.

✚ NT = NT1

Categoría	Tipo de Vía	TPDs	Ejes acumulados de 8.2 t
T ₀	(Vt) – (E)	0 a 200	< 1'000.000
T1	(Vs) – (M ó A) – (CC)	201 a 500	1'000.000 a 1'500.000
T2	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	501 a 1.000	1'500.000 a 5'000.000
T3	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	1.001 a 2.500	5'000.000 a 9'000.000
T4	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	2.501 a 5.000	9'000.000 a 17'000.000
T5	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	5.001 a 10.000	17'000.000 a 25'000.000
T6	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	Más de 10.001	25'000.000 a 100'000.000

Tabla 21. Valores correspondientes para la determinación de NT. INVIAS

Este resultado técnico es el insumo definitivo para dimensionar adecuadamente el espesor y los materiales de la estructura de la vía.

10. COMPONENTE PAVIMENTO

El estudio fue elaborado por la firma Laboratorio & Ingeniería SAS con el objetivo de definir las alternativas de diseño estructural para la reposición del pavimento en la Carrera 3, entre Calles 2 y 1, tras la demolición requerida para la instalación de redes.

10.1. Parámetros Generales de Diseño

- Categoría de la vía: Corresponde a una vía urbana local (Categoría III).
- Período de diseño: Se adoptó una vida útil de 20 años.
- Tránsito de diseño (Ndis): Se calculó un total de 1.97×10^4 ejes equivalentes de 8.2 toneladas para el carril de diseño.
- Características de la subrasante: El suelo de fundación está compuesto por una arena arcillosa (SC) de plasticidad baja. El valor de CBR de diseño se estableció en 6.5%, presentando un potencial de expansión bajo.

10.2. Alternativas Estructurales Propuestas por el Diseñador

El especialista analizó tres tipos de alternativas independientes para la vía:

Alternativa 1: Pavimento Flexible (Optimizada por AASHTO)

- Capa de rodadura: 6 cm de Mezcla Densa en Caliente (MDC 19).
- Base granular: 20 cm.
- Subrasante: CBR de 6.5% (sin requerir mejoramiento adicional).

Alternativa 2: Pavimento Rígido (Metodología AASHTO Ajustada)

- Losa de concreto rígido: 17 cm de espesor con un módulo de rotura (MR) de 40 kg/cm^2 .
- Subbase granular: 15 cm de espesor.
- Modulación de losas: Dimensiones máximas de 2.50 m de ancho por 3.00 m de largo.

Alternativa 3: Pavimento Articulado (Adoquín de Piedra o Roca)

- Capa superior: Adoquín de roca o piedra con un espesor de diseño de 10 a 15 cm.
- Base granular: 15 cm de espesor.
- Capa de apoyo: Cimentado sobre una capa de arena.

10.3. Obras de Drenaje Complementarias

Debido a la presencia de arcillas en la subrasante y la localización a media ladera de la vía, se recomendó la construcción de un filtro longitudinal en la base del talud superior y cunetas a ambos costados para evitar la saturación de la estructura de pavimento.

Decisión Final y Estructura Seleccionada (Solicitud del Municipio)

Aunque el diseñador propuso varias estructuras de pavimento con opciones independientes (flexible, rígida y articulada), ante la solicitud del municipio de mantener una estructura que permita continuar con la existente en la vía aledaña, se opta por implementar una solución donde se combinen las opciones planteadas.

Esta alternativa garantiza el cumplimiento de la normatividad técnica vigente y atiende las directrices de las autoridades municipales para conservar el patrimonio cultural de la zona sin afectar la funcionalidad de la infraestructura. En consecuencia, en esta opción requerida por el municipio se tomará la estructura de soporte de pavimento rígido con concreto que propone el diseñador, pero adicionando una capa superior de adoquín que permita mantener la continuidad de la geometría y la estética histórica de la vía colindante.

11. COMPONENTE GEOMETRICO

El estudio geométrico comprende un tramo de **82 metros de longitud** en el casco urbano de Beteítiva. El objetivo principal de este diseño es optimizar el trazado existente para adecuarlo a condiciones seguras y funcionales, minimizando el impacto sobre los predios aledaños y la topografía local.

1. Parámetros de Diseño y Clasificación de la Vía

Debido a que las vías urbanas se adaptan según su topografía en lugar de una clasificación rígida, se adoptaron los siguientes parámetros de diseño basados en las directrices para carreteras terciarias del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del INVIAS (2008):

- Tipo de vía: Carretera terciaria.
- Tipo de terreno: Ondulado.
- Velocidad de diseño (VTR): 30 km/h.
- Radio mínimo de diseño: 21 m.
- Pendiente máxima de diseño: 12%.
- Peralte máximo: 6%.

Nota técnica sobre la topografía: Aunque se adoptó una pendiente máxima teórica del 12%, el informe advierte que el corredor real presenta condiciones críticas con pendientes existentes mayores al 14%.

2. Localización y Coordenadas de Referencia

El tramo vial de 82 metros conecta la Carrera 4 con la Carrera 3 en el área urbana. El

posicionamiento espacial del proyecto bajo el sistema de coordenadas de **Origen Nacional Colombiano CTM12** se detalla a continuación:

Punto de Control	Coordenada Norte	Coordenada Este
Inicio de Tramo	2,211,330.122	5,021,228.352
Fin de Tramo	2,211,262.626	5,021,224.149

11.3. Alineamiento Horizontal y Análisis de Curvas

El alineamiento horizontal preservó la mayor parte de la geometría original de la vía para evitar movimientos de tierra excesivos. El tramo se compone de tres curvas principales descritas técnicamente en la siguiente tabla:

Curva	Radio (m)	Delta (Δ)	Tangente (m)	Longitud (m)	Abscisa Inicial	Abscisa Final
C1	33.74	23°37' 21"	7.055	13.91	K0+014.50	K0+028.41
C2	16.31	66°16' 57"	10.649	18.87	K0+039.67	K0+058.54
C3	15.79	22°00' 59"	3.072	6.07	K0+069.93	K0+076.00

Análisis Técnico de Curvatura

- Curvas que cumplen con la norma (C1): Al tener un radio mayor a 21 m, la curva C1 cumple plenamente con los estándares mínimos para la velocidad de diseño seleccionada (30 km/h).
- Curvas críticas (C2 y C3): Al ser heredadas del trazado original del municipio, poseen radios menores a 21m (16.31 m y 15.79 m respectivamente). Para mitigar el riesgo, el diseñador recomienda implementar señalización preventiva, control estricto de peralte máximo (6%) y promover una reducción de velocidad específica en dichos sectores.

4. Sección Transversal de la Vía

Con el propósito de no generar afectaciones prediales perjudiciales, se propuso una sección con dimensiones adaptables a la topografía circundante:

- Calzada total: De ancho variable, dispuesta para dos carriles de circulación.
- Cunetas laterales: 0.70 m de sección para el control del drenaje de escorrentía superficial.
- Componentes estructurales típicos: La sección transversal contempla una estructura de protección compuesta por adoquín de piedra (15 cm), capa de apoyo de arena (5 cm) y base granular (15 cm) sobre la subrasante.

5. Recomendaciones Clave para la Construcción

- Realizar replanteos rigurosos antes del inicio de obras civiles, prestando especial atención a las zonas de transición y curvas críticas (C2 y C3).
- Instalar los elementos de control y advertencia necesarios según el Manual de Señalización Vial de INVIAS, con el fin de advertir a los conductores sobre el cambio de velocidad en las curvas cerradas y la pendiente de la vía.

12. COMPONENTE FINANCIERO.

Con base en el presupuesto oficial adelantado por la firma consultora para el año base 2026 como asignación de recursos.

El análisis financiero y la estimación de costos del proyecto se han estructurado bajo la metodología del Sistema General de Regalías (SGR), utilizando como referencia los precios oficiales de la Gobernación de Boyacá para el año 2026, con la aplicación de factores de incremento por distancia y el correspondiente factor de AIU (Administración, Imprevistos y Utilidad).

El costo total para la ejecución del proyecto (incluyendo costos directos, costos indirectos e interventoría) asciende a la suma de **\$423.224.780,66 COP**. La distribución general de estos recursos se presenta a continuación:

Componente del Presupuesto	Valor (COP)	Porcentaje (%)
Costo Directo de Obra	\$ 294.742.803,02	69,64%
Costo Indirecto (AIU + Costos Adicionales)	\$ 100.794.375,17	23,82%
Subtotal Obra (Directo + AIU + Adicionales)	\$ 395.537.178,19	93,46%
Interventoría de Obra	\$ 27.687.602,47	6,54%
TOTAL PRESUPUESTO GENERAL	\$ 423.224.780,66	100,00%

Desglose del Costo Directo por Capítulos

El costo directo del proyecto se divide en cuatro capítulos de trabajo que garantizan la correcta ejecución técnica de las redes hidráulicas y la posterior adecuación del corredor vial:

Capítulo 1: Preliminares (Costo Directo: \$13.322.109,79 | Con AIU: \$17.318.744,14)

Este capítulo contempla las actividades iniciales requeridas para preparar la zona de intervención:

- **Localización y replanteo de redes, Demolición de placa de piso en concreto, Demolición de obras en concreto simple, Retiro de tubería existente de hasta 12"**

Capítulos 2 y 3: Alcantarillado, Drenajes y Acueducto (Costo Directo: \$127.912.676,10 | Con AIU: \$185.261.580,68)

Garantiza el suministro, excavación e instalación de los sistemas de servicios públicos domiciliarios:

- **Excavaciones mecánicas y cortes**
- **Cajas de inspección (ladrillo de 0,60 x 0,60 x 0,60 m**
- **Concreto simple de 21 MPa para tapas**
- **Pozos de inspección (1,00 m a 1,50 m de altura):**
- **Instalación de tuberías de alcantarillado:**
- **Sumideros y drenajes**
- **Red de Acueducto:**
 - **Rellenos y transportes:**

Capítulo 4: Pavimento (Costo Directo: \$153.508.017,13 | Con AIU: \$199.560.420,53)

Este capítulo materializa la solución concertada con el municipio, combinando una base estructural de pavimento rígido con un acabado estético de adoquín de arcilla vehicular para preservar la estética urbana de la zona:

- **Cuneteo y compactación de la banca**
- **Subbase granular seleccionada**
- **Soporte rígido de concreto MR 4.0 MPa**
- **Acero de refuerzo (60.000 PSI / 420 MPa)**
- **Acabado en adoquín de arcilla vehicular**
- **Sardinell prefabricado A-10 (50x20x80)**
- **Transporte de materiales excedentes o afirmados (> 5 km):**

3. Estructura de Costos Indirectos (AIU) y Gastos Adicionales

El componente indirecto del presupuesto se desglosa bajo el esquema del 30% del costo directo, distribuido de la siguiente forma:

- **Administración (24% del Costo Directo)**
- **Imprevistos (1% del Costo Directo)**
- **Utilidad (5% del Costo Directo)**
- **Total AIU: \$88.422.840.91.**

Costos Adicionales de Gestión y Seguridad

Para asegurar la viabilidad socioambiental, el tráfico vehicular seguro y la integridad de los trabajadores durante la ejecución, se han presupuestado de manera específica los siguientes rubros adicionales:

- **Plan de Manejo de Tránsito (PMT) - Dispositivos y señalización:** \$2.640.000,00.
- **Plan de Adaptación de la Guía Ambiental (PAGA):** \$3.548.534,26.
- **Seguridad y Salud en el Trabajo (SST):** \$6.183.000,00.

4. Interventoría Técnica, Administrativa y Ambiental

Con el fin de asegurar que el proyecto se ejecute de conformidad con las especificaciones técnicas del INVIAS y los diseños hidráulicos, se ha asignado un presupuesto de **\$27.687.602,47 COP** para las labores de interventoría externa, lo que representa el **6,54%** del presupuesto general del proyecto.

13. CRONOGRAMA Y EJECUCION

Para garantizar la viabilidad técnica, social y financiera del proyecto en el casco urbano de Betéitiva, se estima un plazo de ejecución total de tres (3) meses (12 semanas). Esta estimación considera una jornada laboral estándar (lunes a sábado) y contempla la superposición de actividades lógicas para minimizar el tiempo de cierre de la vía.

13. 1. Cronograma de Ejecución por Fases

El proyecto se dividirá en cinco (5) fases secuenciales y traslapadas:

[illegible]

Fase 1: Preliminares y Movilización (Semanas 1 - 2)

- Socialización del proyecto con la comunidad local y comerciantes de la Carrera 3.
- Implementación del Plan de Manejo de Tránsito (PMT) (señalización y desvíos).
- Localización y replanteo de precisión del tramo de 82 metros.
- Demolición de la placa de concreto existente (408.93m^2) y retiro de escombros de manera inmediata para evitar obstrucciones.

Fase 2: Excavaciones e Instalación de Redes Hidráulicas (Semanas 3 - 6)

- Excavación mecánica de zanjas en material común (232.19 m^3).
- Retiro de la tubería antigua de acueducto y alcantarillado.
- Instalación de la nueva red de alcantarillado en PVC de 8" (73.00 ML) y 12" (81.90 ML).
- Instalación de la red de acueducto en tubería PN 10 de 63 mm (95.00ML) y empalme de las 10 acometidas domiciliarias.
- Construcción simultánea de las cajas de inspección, pozos de visita y los sumideros laterales y transversales.

Fase 3: Rellenos y Estructura de Soporte del Pavimento (Semanas 6 - 9)

- Pruebas de presión de la red de acueducto y pruebas de estanqueidad en el alcantarillado (antes de tapar).
- Relleno compactado con material de afirmado (131.40 m^3).
- Preparación de la subrasante, extendido y compactación de la subbase granular (62.98 m^3).
- Instalación de acero de refuerzo y fundición de la losa de concreto rígido de soporte MR 4.0 MPa (65.66 m^3).
- *Nota Crítica:* Se destinará un periodo obligatorio de curado del concreto de mínimo 14 días para que la base estructural alcance la resistencia requerida antes de someterla a cargas de instalación.

Fase 4: Acabado del Pavimento y Urbanismo (Semanas 8 - 11)

- Instalación de los sardineles prefabricados laterales (386.26ML) para confinar el pavimento.
- Instalación de la capa de apoyo de arena de 5 cm.
- Colocación manual y sellado del adoquín de arcilla vehicular (386.26 m^2).
- Perfilado y vaciado de las cunetas de drenaje superficial (0.70 m de sección).

Fase 5: Limpieza, Señalización y Liquidación (Semanas 11 - 12)

- Limpieza general de las redes hidráulicas recién instaladas.
- Retiro de campamentos, limpieza fina del corredor vial y remoción de cualquier escombros

remanente.

- Instalación de la señalización vial definitiva (preventiva y reglamentaria).
- Pruebas finales, actas de recibo a satisfacción por parte de la interventoría y entrega formal de la obra al municipio de Betéitiva.

2. Estimación de Rendimientos de Mano de Obra y Equipos

Para justificar el plazo de 12 semanas, se calculan los siguientes rendimientos promedio diarios para los frentes de trabajo principales:

- Frente de Demolición y Excavación con rendimiento promedio de 20 m³ día utilizando retroexcavadora de llantas para garantizar agilidad y no maltratar la infraestructura aledaña.
- Frente de Tubería (Alcantarillado y Acueducto) con un rendimiento promedio de 12 a 15 ML al día, incluyendo la instalación de uniones, pruebas rápidas y acoples domiciliarios.
- Frente de Concreto (Soporte Rígido) con un rendimiento de vaciado de 15m³ al día, requiriendo aproximadamente 4.5 días hábiles para vaciar la totalidad del concreto estructural de soporte (65.66 m³).
- Frente de Adoquinado con un rendimiento de colocación de adoquín y sardineles de 35 m² al día por cuadrilla calificada.

Análisis de Riesgos de la Ruta Crítica

El éxito en el cumplimiento de los tiempos estimados está directamente relacionado con el control de los siguientes factores de riesgo:

- Tiempos de Curado del Concreto (MR 4.0 MPa) que representa la principal limitante de tiempo en la transición entre la Fase 3 y la Fase 4. Para mitigar este retraso, el vaciado del concreto se realizará por sub-tramos de 20 o 30 metros, permitiendo que mientras un tramo cura, se avance en la excavación e instalación de redes en el siguiente.
- Condiciones Climáticas (Lluvias en Boyacá), por que las precipitaciones pueden inundar las zanjas de excavación e impedir la compactación óptima de la subbase. Se contemplan carpas móviles de protección y sistemas de bombeo rápido en obra.
- Al intervenir el casco urbano antiguo, es altamente probable encontrar acometidas clandestinas o redes no registradas de energía o gas. El contratista dispondrá de un frente de exploración manual previo a la excavación mecánica.

14. CONCLUSIONES

- La La decisión de implementar una estructura combinada (losa de soporte rígido de concreto MR 4.0 MPa complementada con una carpeta de rodadura en adoquín de arcilla vehicular) responde de manera eficiente a una doble necesidad: brinda la alta capacidad de soporte estructural requerida para el tránsito de diseño ($\$1.97 \times 10^4$ ejes equivalentes) y conserva la armonía estética e histórica de las vías colindantes en el casco urbano de Betéitiva.
- El diseño geométrico del tramo de 82 metros se adaptó de manera rigurosa a las directrices del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del INVIAS (2008) para velocidad de diseño de 30 km/h. Aunque se identificaron dos curvas críticas heredadas con radios menores al mínimo teórico (16.31 m y 15.79 m), su conservación evita afectaciones severas a predios consolidados o movimientos de tierra costosos, garantizando viabilidad social y económica al proyecto.
- Debido a la presencia de arcillas de baja plasticidad en la subrasante (suelo SC con CBR del 6.5%) y las pendientes pronunciadas del corredor (superiores al 14% en algunos puntos), el correcto funcionamiento de las obras de drenaje (cunetas de 0.70 m, filtros longitudinales, pozos y sumideros) es el factor más crítico para evitar la saturación de la subbase granular y asegurar la vida útil de 20 años proyectada para el pavimento.
- El presupuesto general del proyecto, estimado en \$423.224.780,66 COP (incluyendo interventoría y costos indirectos de AIU), se encuentra plenamente respaldado bajo la metodología del SGR y utiliza los precios de referencia oficiales de la Gobernación de Boyacá para el año 2026. Las actividades contempladas cubren de forma integral el ciclo de vida de la obra, desde las demoliciones iniciales hasta la señalización vial final.

Recomendaciones de Implementación y Control

- Es indispensable que durante la ejecución se respeten estrictamente los tiempos técnicos de curado del concreto rígido de soporte (mínimo 14 días). Someter la losa a cargas de instalación del adoquín o tráfico de obra antes de que alcance su resistencia de diseño (MR 4.0 MPa) inducirá fisuras tempranas que comprometerán la durabilidad de la estructura.
- Debido a las restricciones de curvatura horizontal (curvas C2 y C3) y las fuertes pendientes existentes de la vía, se recomienda de manera mandatoria la implementación rigurosa de



la señalización preventiva y de reducción de velocidad según el Manual de Señalización de INVIAS (2015) para advertir a los conductores sobre las condiciones del trazado.

- Ante la probabilidad de encontrar redes de servicios públicos domiciliarios no catastradas en la Carrera 3, el contratista ejecutor deberá realizar apiques manuales de exploración de manera previa al uso de maquinaria pesada, minimizando suspensiones innecesarias en los servicios del sector

ING. JHON DAVID GALLO GALLO

REP LEGAL CAD INGENIERIA Y PROCESOS SAS.